и набора используемых ресурсов. Представленная формула для более расширенного представления модели (как и представленная схема модели логистической системы пассажирских перевозок) нуждается в значительной детализации и более подробным рассмотрении, что будет проведено в диссертационном исследовании автора в дальнейшем.

Выводы

1. Логистика пассажирских перевозок должна носить новый научный подход, основанный на использовании модели, интегрирующей управляемые элементы: пассажиропоток, финансовый поток, ресурсы.
2. Интеграция вышеназванных управляемых элементов позволяет создать логистическую модель, на основе которой можно планировать потребные ресурсы железной дороги под конкретный объем перевозок, что обеспечивает сбалансированность расходов и доходов железной дороги в условиях регулируемых тарифов.

Рассчитывая интегральную зависимость с использованием управленческих решений, можно моделировать экономические процессы по пассажирским перевозкам, уменьшая их убыточность.

1.Гаджинский А.М. Логистика / А.М. Гаджинский. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Инф.-внедр. центр «Маркетинг», 2000. – 375 с.

2.Николайчук В.Е. Логистический менеджмент / В.Е. Николайчук. – М.: Дашков и К, 2009. – 978 с.

3.Транспортная логистика / [Л. Б. Миротин и др.]. – 2-е изд., стереотип. – М: Экзамен, 2005. –511 с.

4.Копитко В.І. Логістичний підхід у створенні ефективного механізму управління пасажирськими перевезеннями залізничним транспортом / В.І. Копитко // Матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. “Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті”. – К.: ДАЗТУ, 2009. – С.54-57.

Получено 15.02.2012

УДК 517.958.77

А.В.ЯКУНИН, канд. техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Предлагается гидродинамическая модель гиперболического типа односторонних высокоинтенсивных нестационарных транспортных потоков по главной автомагистрали с сосредоточенными притоками и оттоками из второстепенных боковых дорог. Рассматривается применение преобразования Лапласа для приближенного решения методом разложения по малому параметру соответствующей краевой задачи.

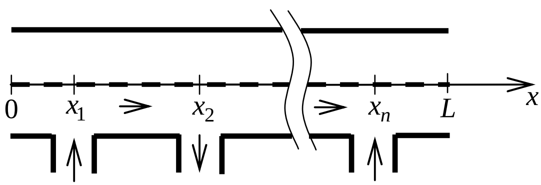
Пропонується гідродинамічна модель гіперболічного типу односторонніх високоінтенсивних нестаціонарних транспортних потоків по головній автомагістралі із зосередженими притоками і відтоками з другорядних бокових доріг. Розглядається застосування перетворення Лапласа для наближеного розв'язування методом розвинення за малим параметром відповідної крайової задачі.

The hydrodynamic model of hyperbolical type of one-sided high-intensive non-stationary transport streams is offered on main motorway with the concentrated influxes and outflows from second-rate bypaths. Application of transformation of Laplace for close the decision method of decomposition on the small parameter of the proper border task is examined.

Ключевые слова: автомагистраль, транспортный поток, дифференциальное уравнение, дельта-функция Дирака, преобразование Лапласа, разложение по малому параметру.

Развитие сетей автодорог различного назначения и повышение интенсивности движения в связи с ростом числа автомобилей, их скорости и относительного времени использования актуализируют задачи управления транспортными потоками на базе современных компьютерных технологий. Это требует разработки соответствующего математического и программно-алгоритмического обеспечения, в частности, создания достаточно простых математических моделей нестационарных режимов и методов оперирования с ними.

В рамках гидродинамической теории транспортных потоков рассматривается односторонний высокоинтенсивный (характерный для периода $[0;T]$, $T>0$ пиковых нагрузок) нестационарный транспортный поток по главной автомагистрали (ГА) длиной L с сосредоточенными притоками и оттоками из второстепенных боковых магистралей (рисунок). Для его описания используется два режимных параметра: $C=C(x,t)$ – плотность потока, которая определяет количество автомобилей на единицу длины трассы в сечении с пространственной координатой x по длине в момент времени t; $J=J(x,t)$ – расход потока, который определяет количество автомобилей, пересекающих за единицу времени сечение ГА с координатой x в момент времени t.



Главная автомагистраль с боковыми трассами

В работе [1] такие потоки моделируются дифференциальной системой параболического типа. При определенных допущениях она сводится к диффузионной модели Бюргерса и позволяет, в частности, описывать рассасывание тягучих “пробок”. Однако эта модель не отражает волнообразные процессы образования и рассасывания “пробок”, характерные для автотранспортных потоков в районах крупных мегаполисов.

Цель исследования – разработать гидродинамическую модель волновых нестационарных процессов в высокоинтенсивных транспортных сетях лучевой структуры.

Синтез дифференциальной модели гиперболического типа высокоинтенсивных нестационарных транспортных потоков. Исходя из условия неразрывности транспортного потока и учитывая боковые притоки и оттоки, можно после несложных преобразований получить единое для всей ГА дифференциальное уравнение с обобщенными функциями в безразмерной форме

$$\frac{\partial \overline{C}(\bar{x},\bar{t})}{\partial \bar{t}}+\frac{\partial \overline{J}(\bar{x},\bar{t})}{\partial \bar{x}}=\varepsilon\sum_{i=1}^{n}\overline{J}_i\left(\bar{t},\overline{C}(\bar{x}_i,\bar{t})\right)\delta(\bar{x}-\bar{x}_i), \qquad (1)$$

где $\overline{J}_i\left(\bar{t},\overline{C}(\bar{x}_i,\bar{t})\right)$ – функция, определяемая расходом потока i-го бокового ответвления, $i=\overline{1,n}$ ($\overline{J}_i\geq 0$ – для притока, $\overline{J}_i\leq 0$ – для оттока); n – количество боковых магистралей; $\delta(\bar{x}-\bar{x}_i)$ – смещенная в точку $\bar{x}_i$ единичная импульсная дельта-функция Дирака; ε – малый положительный параметр, отражающий второстепенность влияния потоков из боковых магистралей; $\overline{C}=C/C_0$ и $\overline{J}=J/J_0$ – безразмерные соответственно плотность и расход потока; C_0, v_0 и $J_0=v_0C_0$ – характерные соответственно плотность, скорость и расход потока (в качестве C_0 можно взять максимально допустимую плотность потока $C_{\max}$); $\bar{x}=x/L$ – безразмерная пространственная координата; $\bar{t}=v_0t/L$ – безразмерное время.

Как отмечено в [1], экспериментальные данные показывают, что для высокоинтенсивных потоков (при $C/C_{\max}\geq 0{,}2$) расход с увеличением плотности падает. Моделью этой зависимости может служить дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial \overline{J}(\bar{x},\bar{t})}{\partial \bar{t}}+D\frac{\partial \overline{C}(\bar{x},\bar{t})}{\partial \bar{x}}=0, \qquad (2)$$

где $D=const>0$ – подстраиваемый коэффициент.

Система дифференциальных уравнений (1), (2) аналогична модели нестационарного течения газообразных и жидких сред в трубопроводе, методы оперирования с которой достаточно развиты [2, 3].

Приближенное решение соответствующей краевой задачи в области изображений по Лапласу. Рассматривая в модели (1), (2) для длинной ГА переменные $\overline{C}(\overline{x},\overline{t})$ и $\overline{J}(\overline{x},\overline{t})$ как их отклонения от соответствующих значений для исходного стационарного режима и вводя дополнительные предположения о характере автотранспортного потока, можно упростить полученную систему (1), (2) и получить ее приближенное аналитическое решение на основе теории возмущений с помощью преобразования Лапласа.

Боковые расходы можно аппроксимировать зависимостями

$$J_i\big(t, C(x_i,t)\big) = A_i \sin\omega_i t + B_i C(x_i,t)\,,\ i=\overline{1,n}\,, \tag{3}$$

где A_i, B_i, ω_i – постоянные коэффициенты, причем $B_i < 0$, а $A_i > 0$ – для притока и $A_i < 0$ – для оттока. Здесь и далее для упрощения знак горизонтальной черты над безразмерными переменными опущен.

Учитывая (3), с помощью дифференцирования уравнений (1) и (2) соответственно по t и x можно исключить расход J и получить телеграфное уравнение для плотности C :

$$\frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial t^2} - D\frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} = \varepsilon\sum_{i=1}^{n}\left(A_i\omega_i\cos\omega_i t + B_i\frac{\partial C(x_i,t)}{\partial t}\right)\delta(x-x_i)\,. \tag{4}$$

Опираясь на теорию возмущений, можно искать плотность C в виде разложения по малому параметру ε :

$$C(x,t) = C^{(0)}(x,t) + \varepsilon C^{(1)}(x,t) + \varepsilon^2 C^{(2)}(x,t) + \ldots\,, \tag{5}$$

где из практических соображений достаточно ограничиться только первыми двумя членами.

Нулевое приближение $C^{(0)}(x,t)$ является решением однородного волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 C^{(0)}(x,t)}{\partial t^2} - D\frac{\partial^2 C^{(0)}(x,t)}{\partial x^2} = 0 \tag{6}$$

при нулевом начальном

$$C^{(0)}(x,0) = 0\,,\ x\in[0;1] \tag{7}$$

и граничных

$$C^{(0)}(0,t) = C_g(t)\,;\quad C^{(0)}(1,t) = 0\,,\ \ t>0 \tag{8}$$

условиях. Здесь $C_g(t)$ – заданная функция.

Используя преобразование Лапласа по переменной t, общее решение $\widetilde{C}^{(0)}(x,s)$ уравнения (6) в области изображений можно представить в симметричной форме:

$$\widetilde{C}^{(0)}(x,s)=E_1(s)\exp\left(-xs\big/\sqrt{D}\right)+E_2(s)\exp\left(-(1-x)s\big/\sqrt{D}\right), \qquad (9)$$

где $E_1(s)$, $E_2(s)$ – константы интегрирования; s – параметр преобразования.

Из граничных условий следует:

$$E_1(s)=\frac{\widetilde{C}_g(s)}{1-\exp\left(-2s\big/\sqrt{D}\right)};\quad E_2(s)=-\frac{\widetilde{C}_g(s)\exp\left(-s\big/\sqrt{D}\right)}{1-\exp\left(-2s\big/\sqrt{D}\right)}. \qquad (10)$$

Тогда

$$\widetilde{C}^{(0)}(x,s)=\frac{\widetilde{C}_g(s)}{1-\exp\left(-2s\big/\sqrt{D}\right)}\exp\left(-xs\big/\sqrt{D}\right)-$$

$$-\frac{\widetilde{C}_g(s)\exp\left(-s\big/\sqrt{D}\right)}{1-\exp\left(-2s\big/\sqrt{D}\right)}\exp\left(-(1-x)s\big/\sqrt{D}\right). \qquad (11)$$

Первое приближение $C^{(1)}(x,t)$ является решением неоднородного волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 C^{(1)}(x,t)}{\partial t^2}-D\frac{\partial^2 C^{(1)}(x,t)}{\partial x^2}=\sum_{i=1}^{n}\left(A_i\omega_i\cos\omega_i t+B_i\frac{\partial C^{(0)}(x_i,t)}{\partial t}\right)\delta(x-x_i) \qquad (12)$$

при нулевых начальном и граничных условиях.

В области изображений с учетом (11) уравнение (12) принимает вид

$$s^2C^{(1)}(x,s)-D\frac{\partial^2 C^{(1)}(x,s)}{\partial x^2}=Q(x,s), \qquad (13)$$

где

$$Q(x,s)=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{A_i\omega_i s}{s^2+\omega_i^2}+B_i s\left(\frac{\widetilde{C}_g(s)\exp\left(-x_i s\big/\sqrt{D}\right)}{1-\exp\left(-2s\big/\sqrt{D}\right)}-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{\widetilde{C}_g(s)\exp\left(-s\big/\sqrt{D}\right)}{1-\exp\left(-2s\big/\sqrt{D}\right)}\exp\left(-(1-x_i)s\big/\sqrt{D}\right)\right)\right)\delta(x-x_i). \qquad (14)$$

Общее решение полученного уравнения (13) можно получить методом вариации произвольных постоянных. Оно имеет вид:

$$\widetilde{C}^{(1)}(x,s)=\left(-\frac{\sqrt{D}}{2s}\int_0^x Q(z,s)\exp\left(zs\big/\sqrt{D}\right)dz+F_1(s)\right)\exp\left(-xs\big/\sqrt{D}\right)+$$

$$+\left(\frac{\sqrt{D}}{2s}\int_0^x Q(z,s)\exp\left((1-z)s/\sqrt{D}\right)dz+F_2(s)\right)\exp\left(-(1-x)s/\sqrt{D}\right), \quad (15)$$

где $F_1(s)$, $F_2(s)$ – константы интегрирования.

Из граничных условий следует:

$$F_1(s)=-\frac{P(s)\exp\left(-s/\sqrt{D}\right)}{1-\exp\left(-2s/\sqrt{D}\right)}; \quad F_2(s)=\frac{P(s)}{1-\exp\left(-2s/\sqrt{D}\right)}, \quad (16)$$

где

$$P(s)=\frac{\sqrt{D}}{2s}\int_0^1 Q(z,s)\left(\exp\left(-(1-z)s/\sqrt{D}\right)-\exp\left((1-z)s/\sqrt{D}\right)\right)dz. \quad (17)$$

Сложный вид изображений (11) и (15) не дает возможности найти соответствующие оригиналы через таблицы преобразования Лапласа или с помощью теоремы обращения. Исходя из опыта практических расчетов, можно рекомендовать дробно-рациональную аппроксимацию изображений, что позволяет получить простые расчетные формулы во временной области.

В дальнейшем предполагается повысить точность предложенной гидродинамической модели введением в нее дополнительных членов, в частности, отражающих инерционность и внутреннюю вязкость авто-транспортных потоков.

1.Березгов А.М. Гидродинамическая модель транспортного потока // Труды II Всерос. науч. конф. (1-3 июня 2005 г.). Ч. 2. – Самара: СамГТУ, 2005. – С.51-53.

2.Гусейн-Заде М.А., Юфин В.А.. Неустановившееся движение нефти и газа в магистральных трубопроводах. – М.: Недра, 1981. – 232 с.

3.Грачев В.В., Щербаков С.Г., Яковлев Е.И. Динамика трубопроводных систем. – М.: Наука. 1987. – 434 с.

Получено 14.02.2012

УДК 004.891 : 681.518

Ж.К.КАМІНСЬКА
Запорізький національний технічний університет

ОНТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ЗНАНЬ ПРО ЕРГОНОМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЕРГОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Розроблено модель концептуальних знань для області "Ергономічне забезпечення проектування ерготехнічних систем" у вигляді трьох рівнів онтології, яка дозволяє задати точну специфікацію концептуалізації даної області, забезпечити узгодження і інтеграцію знань з декількох предметних областей.